

## 局所振動暴露による末梢循環系・末梢神経系の振動数応答

金沢大学医学部公衆衛生学教室 (主任: 岡田 晃教授)

野 原 聖 一

(昭和58年12月27日受付)

局所振動暴露に対する末梢循環系、末梢神経系の生理学的応答を調べるために、本研究を行った。まず振動工具使用者 (男子、年齢 37-76 歳、工具使用期間 2-30 年) 24 名について、無症状群 (A 群)、蒼白発作はないがしびれやいたみのある群 (B 群)、蒼白 (レイノー現象) 発作のある群 (C 群) の 3 群に対象をわけて末梢循環機能、末梢神経機能を検討した。指皮膚温については、各群間に有意な差は認められなかったが、指血流量は、C 群は他の A、B 群より有意に減少し ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ )、C 群の末梢神経伝導速度は、他の A、B 群より有意に遅延していた (ともに  $p < 0.01$ )。

次に生体にとってどのような振動数が最も効果的であるかを明らかにするために、加速度を一定 ( $50 \text{ m/sec}^2$ ) にして振動数を種々に変化させ (30 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 240 Hz, 480 Hz, 960 Hz)、局所振動暴露に対する応答について検討した。

動物実験では、ラットの尾部を局所振動に暴露したが、その結果、皮膚温は 30 Hz, 240 Hz で、血流量は 30 Hz, 60 Hz, 480 Hz で、また神経伝導速度は 30 Hz, 60 Hz, 120 Hz で、暴露の前後で有意な変化を認めた。また、健康な成年男子 5 名 (25-31 歳) の手腕系を局所振動に暴露したところ、振動暴露の前後で指皮膚温に特に有意な変化を示した振動数はなかったが、指血流量については 30 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 480 Hz において低下傾向を認め、一方末梢神経伝導速度については、尺骨神経では 120 Hz, 正中神経では 30 Hz において低下傾向を認めた。

すなわち局所血流量や末梢神経伝導速度の検査は蒼白発作のある群とない群との鑑別に有用であり、また実験的に局所振動暴露を行い、その生理学的応答について検討したところ、動物およびヒトでの成績はほとんど一致し、神経障害は 30-120 Hz という比較的低い振動数で影響を受ける傾向を認めたのに対して、血流障害は 30 Hz, 60 Hz といった低い振動数ばかりでなく、240 Hz, 480 Hz という比較的高い振動数でも影響を受けることが明らかとなった。

---

**Key words** Local vibration, Frequency, Skin temperature, Local blood flow, Peripheral nerve conduction velocity

---

振動障害は、手腕系に振動を伝達するチェーンソー、刈払機、削岩機、タイタンパーなどの手持動力工具を使用することによって起こる障害をいうが、主にレイノー現象に代表される末梢循環障害、末梢神経障害および運動機能障害を中心とするものである<sup>1)2)</sup>。

Raynaud<sup>3)</sup>は 1862 年にレイノー病として知られる四肢末梢の発作性の蒼白変化について報告したが、振動工具使用者におけるレイノー現象の発生を初めて報告したのは 1911 年イタリアの Loriga<sup>2)4)</sup>によってであ

り、わが国においていわゆる「白ろう病」として社会的に関心がもたれるようになったのは 1960 年代に入ってからであった。

振動障害に関する研究上の重要な課題としてあげられるのは、agent として作用する振動のどの程度の強度のものが障害を発生するかということと、幅広い振動数範囲のなかでどの振動数の影響が顕著であるかということであるが、とくに後者の課題は振動障害が多様な症状によって成立するだけに、また振動障害の発

---

The Influence of the Various Frequencies in Local Vibration Exposure on Peripheral Circulatory and Nervous Functions. **Seiichi Nohara**, Department of Public Health, (Director: Prof. A. Okada), School of Medicine, Kanazawa University.

生機序の理解にも密接に関連するだけに多大の関心をあつめているといえる。

そこで本研究では局所振動暴露の際の生体の振動数応答に焦点をあてることにした。これについてこれまでの研究において振動工具の振動特性と臨床所見とを対応させて検討したものはある<sup>9)</sup>が、振動工具の振動数はそもそも種々の振動数から構成されており、従ってその工具の振動数の範囲も広いだけに、ある振動工具の特定の振動数が主勢力を占めていたとしても、それが最も生体に影響を及ぼす振動数であるとは断定できないところに難点があった。そこで、この振動障害の発症における振動数の関与についての解明のために、多くの基礎的実験が積み重ねられていく必要が生ずる。そのため、まず動物実験により、次いで人体の手にさまざまな振動数の局所振動暴露を行い、暴露振動数と末梢循環機能・末梢神経機能の応答との関連性について追究することにしたが、このことは振動障害の病態を明らかにするためにも極めて意義のあること

と考えられる。この場合どのような条件下で、すなわち変位あるいは速度を一定にした条件で種々に振動数を変化した方がよいのか、いわば効果的な振動数を抽出するための振動強度の設定条件が問題となるのであるが、生体は第一義的に加速度で応答すること、また予備実験での吟味の結果から、加速度を一定として振動数を種々に変化させることとした。この場合、振動をラットの尾部および健康人の手に暴露することとし、影響は皮膚温、局所血流量と末梢神経伝導速度の変化について観察し、検討することとした。以下その成績について報告する。

#### 対象および方法

##### I. 振動工具使用者における皮膚温、局所血流量および末梢神経伝導速度の測定

###### 1. 対象

37 歳から 76 歳までの振動工具（主にチェン・ソー）使用者で、全員男性で、工具使用期間は 2 年から 30 年

Table 1. Classification of 24 workers using vibrating tools in skin temperature and finger blood flow test. The numeral in each column represents No. of cases.

Group age	A	B	C
≤ 40	1	1	
≤ 50	1	1	1
≤ 60	3	3	3
≤ 70	3	3	3
70 <			1

A, group with no symptom; B, group with numbness and/or pain without Raynaud's phenomenon; C, group with Raynaud's phenomenon.

\*years: period of using vibrating tools.

Group *years	A	B	C
≤ 10	2	2	2
≤ 15	5	5	4
15 <	1	1	2

Table 2. Classification of 24 workers using vibrating tools in nerve conduction velocity test. The numeral in each column represents No. of cases.

Group age	A	B	C
≤ 40			
≤ 50	2	1	
≤ 60	3	3	4
≤ 70	3	4	4
70 <			

A, B & C: refer to Table 1.

\*years: period of using vibrating tools.

Group *years	A	B	C
≤ 10	4	4	5
≤ 15	4	4	3
15 <			

に及んでいる。被験者は皮膚温・局所血流量・末梢神経伝導速度の測定項目毎に24名を、性・年齢階級・工具使用期間をマッチさせて、無症状群(A群)、蒼白発作はないがしびれやいたみのある群(B群)、蒼白発作のある群(C群)の各群8名ずつになるように選定した(表1, 表2)。

## 2. 測定方法

昭和50年10月20日付労働基準局長による基発第609号<sup>5)</sup>で、「振動工具の取扱い業務に係る特殊健康診断の実施手技について」が通達されている。その通達に従って、室温 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の部屋で30分以上安静にさせ、また測定前1時間は禁煙させた。

### 1) 皮膚温

皮膚温測定には宝工業のデジタル温度計D111を用い、左手中指末節掌側にサーミスタセンサーの感温部を十分に密着させ、紙テープで固定し測定した。

### 2) 局所血流量

血流量測定には水素ガスクリアランス法を応用した電解式組織血流計Model RBF-1(バイオメディカルサイエンス社)を用いた。生体の局所血流量を測定する方法として、Auklandら<sup>6)</sup>の考案した水素ガスクリアランス法があるが、本研究で用いた装置はその応用で、生体中の水分を利用し電気分解により陰極に水素を発生させ、そのクリアランスカーブより組織血流量を求める装置である。左手中指中節の右側面には、テフロンコーティングした直径 $200\mu$ の白金イリジウム針電極(Pt-Ir電極)を刺入し、一方不関電極として、左手背部に銀塩化銀処理皿電極 $10\text{mm}\phi$ を装着した。電解条件は $10\mu\text{A}$ 、60秒に固定し、その際発生した水素ガスのポーラロ電流の変化を記録した。この変化は、水素濃度が減少しはじめて10~15分までの間で指数関数に近似される。したがってこの指数関数の半減期を求め、計算式から局所組織血流量を算出した<sup>6)-8)</sup>。

### 3) 末梢神経伝導速度

被験者の左側の尺骨神経、正中神経の運動神経伝導速度(motor nerve conduction velocity, 以下MNCVと略記)を測定した<sup>9)</sup>。肘部および手首部に刺激装置(WPI, Bipolar stimulator Model 601; NF, Function oscillator Model E 1011)からの電気刺激(刺激電極Medelec EL 212M)を加えて、各々小指球筋(M. abductor digiti minimi)、短母指外転筋(M. abductor pollicis brevis)からの誘発筋活動電位(muscle action potential)を導出しSignal processor (San-ei, Type 7SO7)にて加算し、X-Y recorder (YEW, Type 3077)に記録した。MNCVの算出は、肘部刺激点および手首部刺激点の距離の差を、両刺激によって得られる誘発筋活動電位の立ち上がり点までの潜時の差で除して

m/secの単位で求めた。刺激条件としては、持続時間0.2 msec、頻度は毎秒1回の矩形電流とし、刺激の強度はすべての場合、最大上刺激(supramaximal stimulation)で行った。

## II. ラット尾部の局所振動暴露時における皮膚温、局所血流量およびMNCVの測定

### 1. 対象

実験動物には、Wistar系の雄性成熟ラット(体重 $245-295\text{g}$ )35匹を用いた。日内リズム調節のため、人工照明可能な動物飼育室で、約2週間の調節期間を事前に設定した。室温はI-2と同じく、 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ と一定に保ち、ラットには振動暴露1時間前までオリエンタルMF固形飼料および水を自由に摂取させた。飼育期間中順調な体重増加を示さなかったものは対象から除外した。なお実験室の暗騒音は約40 dB(A)程度であった。

### 2. 振動暴露方法

振動負荷装置は動電型加振機(EMIC 513-A, 加振力7.5 kg, 使用振動周波数範囲5-5000 Hz)、増幅器(TACHIKAWA TA-100)、オシレーター(TRIO AG202A)、振動計(EMIC 505-D)より構成されるが、振動台は加振機の振動板上に固定され、同台には振動レベル測定用の加速度型ピックアップ(EMIC 541-A)を取り付け、振動計により加振中の振動台の振動レベルを監視した。

ラットは特殊ケージ内に入れ、振動台と同高の位置にケージに振動が伝達しないようにおき、またラット尾部のみが水平に振動台上にくるように配慮した。

負荷した振動は振動数30 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 240 Hz, 480 Hzおよび960 Hzの正弦波垂直振動で、加速度はいずれも $50\text{m/sec}^2$ とし、ラット尾部の長軸方向に垂直に240分間の負荷を行った。なお、振動に暴露しないで特殊ケージに240分間入れた群を対象群とした。

### 3. 測定方法

特殊ケージに入れ皮膚温、局所血流量およびMNCVの測定後、直ちに振動負荷装置にセットし、240分間暴露し、また同項目の検査を行った。

#### 1) 皮膚温

ラット尾部をまっすぐにして、肛門より約9.5 cmの部位にて(図1, A点)、サーミスタセンサーを密着させ測定した。使用器械はI-2と同じである。

#### 2) 局所血流量

血流量の測定方法もI-2と同じであるが、Pt-Ir電極は、皮膚温測定部位の近傍(肛門からの距離は同じ約9.5 cm; 図1, B点)に刺入し、不関電極は肛門より約5 cmの部位(図1, C点)に固定した。

### 3) MNCV

肛門より約 2 cm, 4 cm の部位を第一刺激点として指電極 (Medelec EL 36) の陽極⊕を中枢側, 陰極⊖を末梢側になるよう装着し (図 1,  $S_1$ ⊕点,  $S_1$ ⊖点), 同じく約 6 cm, 8 cm の部位を第二刺激点として指電極を装着した (図 1,  $S_2$ ⊕点,  $S_2$ ⊖点). それより約 3 cm 離れた部位の分節筋 (segmental muscle)<sup>10)</sup> にダブルコア針電極 (Medelec DS 37) を刺入し, 尾部の longitudinal nerve trunk を上の二点 ( $S_1$ ,  $S_2$ ) で刺激して得られる誘発筋活動電位を導出した (図 1, R 点). 刺激装置や刺激条件等については I-2 と同じである.

### III. 健康人の手腕系局所振動暴露時における皮膚温, 局所血流量および MNCV の測定

#### 1. 対象

被験者は健康な 25 歳から 31 歳の成年男子 5 名である. 振動工具使用経験やオートバイ等の乗務経験はなく, 現在喫煙習慣もない.

#### 2. 振動暴露方法

振動負荷装置は II-2 と同じ構成であるが, 加振機の振動板上に直径 40 mm の円柱ハンドルを有するアクリル製の手部加振装置を試作して固定し, これにも振動レベル測定用の加速型ピックアップ (EMIC 541-A) を取り付け, 振動計 (EMIC 505-D) により加振中のハンドルの振動レベルを監視した.

被験者には椅座位で左腕を左下前方にのばしてハンドルを軽く握らせ, 振動を暴露した. ハンドルにはストレインゲージを貼布し, ひずみ増幅器 (San-ei 6M57A) で増幅後の出力を被験者の前においたビジュグラフ (San-ei 5L30) に表示し, 暴露中の握り方をほぼ一定にするよう配慮した.

負荷した振動は動物実験の場合と同じく振動数 30 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 240 Hz, 480 Hz および 960 Hz の

正弦波垂直振動で, 加速度はいずれも  $50\text{m/sec}^2$  であり, 被験者の左手 X 方向 (International Standard Organization (ISO) の基準<sup>11)</sup>) に今回は 60 分間の負荷を行った. なお対照として, 振動を負荷しないで (ただし加振機の駆動の際に発生する騒音に暴露) ハンドルを 60 分間把持させただけのときの影響についても観察した.

#### 3. 測定方法

皮膚温, 局所血流量, MNCV の測定方法等は I-2 と同じである.

### 成 績

#### I. 振動工具使用者における皮膚温, 局所血流量および MNCV

振動工具使用者について, 皮膚温, 局所血流量, MNCV を測定したが, 無症状群 (A 群), 蒼白発作はないがしびれやいたみのある群 (B 群), 蒼白発作のある群 (C 群) (各群  $n = 8$ ) の 3 群に対象を区分して結果を図 2~5 に示した.

##### 1. 皮膚温

それぞれの群の皮膚温の平均値±標準誤差は, A 群  $31.5 \pm 0.45^\circ\text{C}$ , B 群  $32.2 \pm 0.41^\circ\text{C}$ , C 群  $30.2 \pm 1.22^\circ\text{C}$  となり, 図 2 に示したが, 各群間に有意な差は認めなかった.

##### 2. 局所血流量

結果は図 3 に示したが, 血流量の平均値±標準誤差は, A 群  $54.6 \pm 2.74\text{ ml/100 g/min}$ , B 群  $46.6 \pm 4.84\text{ ml/100 g/min}$ , C 群  $34.4 \pm 1.98\text{ ml/100 g/min}$  であり, 各群間を比較すると, C 群 (蒼白発作のある群) の血流値の平均値は, A 群のそれと比較すると危険率 1% 以下で有意に減少しており, 同様に B 群のそれとの比較でも危険率 5% 以下で有意な減少であった. A 群と B 群との間に有意な差は認めなかった.

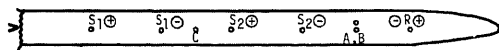


Fig. 1. Schema of electrode arrangements for the skin temperature, local blood flow and nerve conduction velocity measurements on the tails of rats. For measurement of the skin temperature, one thermister was put with paper tape at point A. For measurement of the local blood flow, one needle electrode was inserted at point B and one reference electrode was put at point C. For stimulation of the nerve fibers, two pairs of steel electrodes were separately ringed at point  $S_1$  and  $S_2$ . For recording of compound action potentials from the nerve fibers, one steel needle was inserted at point R.

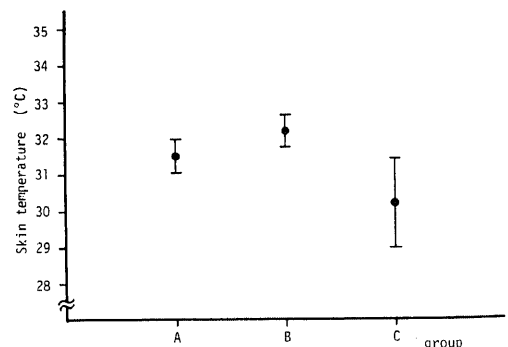


Fig. 2. Skin temperature of 24 workers using vibrating tools. Each group represents a mean ± S. E. M. of 8 men.

A, B & C: refer to Table 1.

### 3. MNCV

#### 1) 尺骨神経

図4に結果を図示したが、尺骨神経のMNCVの平均値±標準誤差は、A群 $54.1 \pm 2.78$  m/sec, B群 $61.8 \pm 3.43$  m/sec, C群 $48.2 \pm 1.65$  m/secであった。各群間の比較においては、C群とB群との間に有意な差を認めた(危険率1%以下)。さらにC群はA群より遅延傾向(危険率10%以下)を認めたが、A群とB群との間に有意な差は認めなかった。

#### 2) 正中神経

正中神経のMNCVの平均値±標準誤差は、A群 $64.4 \pm 4.56$  m/sec, B群 $59.1 \pm 4.41$  m/sec, C群 $48.5 \pm 2.16$  m/secで、図5に示した。C群の平均値をA群のそれと比較すると、危険率1%以下で有意に減

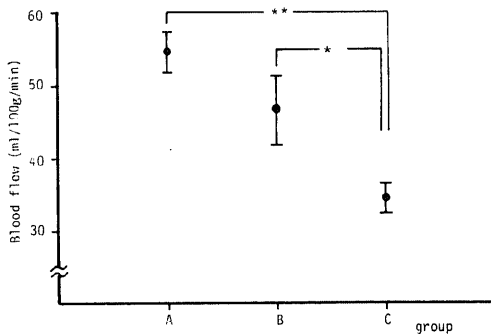


Fig. 3. Blood flow of 24 workers using vibrating tools. Each group represents a mean±S.E.M. of 8 men.

A, B & C: refer to Table 1.

\*\*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$  (t-test).

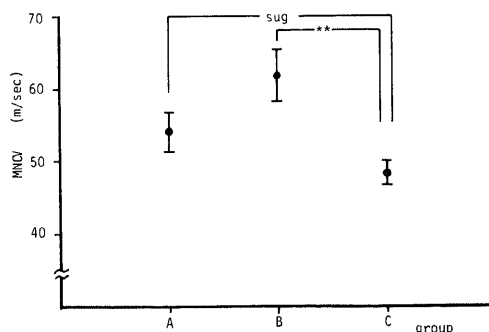


Fig. 4. Peripheral motor nerve conduction velocity (MNCV) of the ulnar nerve of 24 workers using vibrating tools. Each groups represents a mean±S.E.M. of 8 men.

A, B & C: refer to Table 1.

\*\*,  $p < 0.01$ ; sug,  $p < 0.10$  (t-test).

少しており、B群との比較でも危険率5%以下でMNCVの有意な遅延を認めた。

#### II. ラット尾部の皮膚温、局所血流量およびMNCVの局所振動暴露による変化

図6～8に、振動加速度を $50 \text{ m/sec}^2$ に一定にして、振動数が30 Hzから960 Hzまでの種々の振動数を負荷した場合の、皮膚温、局所血流量、MNCVの振動暴露(240分間)による変化(振動暴露後値－同前値)を平均値で示す。

##### 1. 皮膚温(図6)

各振動数群において、(振動暴露後の皮膚温－振動暴

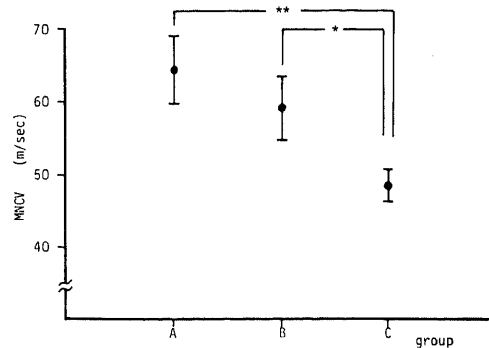


Fig. 5. Peripheral motor nerve conduction velocity of the median nerve of 24 workers using vibrating tools. Each group represents a mean±S.E.M. of 8 men.

A, B & C: refer to Table 1.

\*\*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$  (t-test).

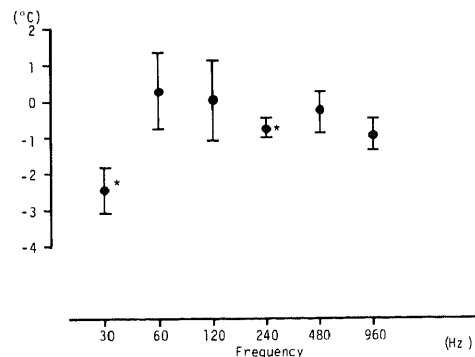


Fig. 6. Effect of various frequencies on skin temperature on the tails of rats exposed for 4 hours to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m/sec}^2$ ). Each group represents a mean±S.E.M. of the skin temperatures changed before and after vibration exposure of 4 rats (60, 240, 960 Hz) or 5 rats (30, 120, 480 Hz).

\*,  $p < 0.05$  (t-test).

露前の皮膚温)の平均値±標準誤差は、30 Hz ( $n = 5$ 、局所血流量、MNCV も同じ四数、以下同様) が  $-2.46 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 、60 Hz ( $n = 4$ ) が  $0.27 \pm 1.03^\circ\text{C}$ 、120 Hz ( $n = 5$ ) が  $0.06 \pm 1.12^\circ\text{C}$ 、240 Hz ( $n = 4$ ) が  $-0.72 \pm 0.21^\circ\text{C}$ 、480 Hz ( $n = 5$ ) が  $-0.26 \pm 0.56^\circ\text{C}$ 、960 Hz ( $n = 4$ ) が  $0.87 \pm 0.46^\circ\text{C}$ 、そして対照群 ( $n = 5$ ) が  $-1.00 \pm 0.84^\circ\text{C}$  であった。暴露前値、後値の差を求め対応のある場合の平均値の検定 (t 検定) を行くと、振動数 30 Hz 群、240 Hz 群においては危険率 5 % 以下で局所振動暴露前の皮膚温と暴露後の皮膚温の平均値の間に有意な差を認めた。他の振動数群および対照群においては、有意な変化を認めなかった。

## 2. 局所血流量 (図 7)

血流量の (振動暴露後値 - 暴露前値) の平均値±標準誤差は、振動数群毎に 30 Hz が  $-9.53 \pm 1.97 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ 、60 Hz が  $-6.21 \pm 1.24 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ 、120 Hz が  $-6.43 \pm 3.22 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ 、240 Hz が  $-2.81 \pm 1.28 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ 、480 Hz が  $-4.99 \pm 1.64 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ 、960 Hz が  $-1.21 \pm 0.48 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$  であった。また対照群のそれは  $-1.27 \pm 1.88 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$  であった。暴露前値と後値との平均値の比較 (対応のある場合) では、振動数 30 Hz 群においては危険率 1 % 以下で有意な減少を示し、振動数 60 Hz 群、480 Hz 群においても暴露前値と後値との間に有意な差を認めた (危険率 5 % 以下)。他の振動数群および対照群では有意な変化を認めなかった。

## 3. MNCV (図 8)

皮膚温や局所血流量と同様に、MNCV についても (振動暴露後値 - 暴露前値) の平均値±標準誤差を示

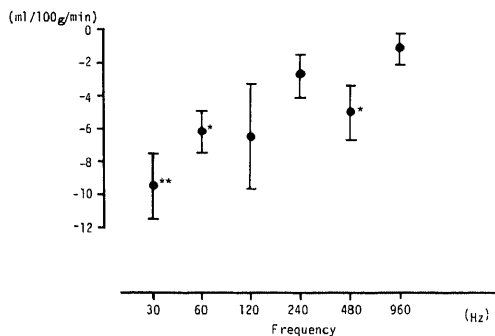


Fig. 7. Effect of various frequencies on blood flow on the tails of rats exposed for 4 hours to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m}/\text{sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of the blood flow changed before and after vibration exposure of 4 rats (60, 240, 960 Hz) or 5 rats (30, 120, 480 Hz).

\*\*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$  (t-test).

すと、30 Hz が  $-5.50 \pm 0.63 \text{ m}/\text{sec}$ 、60 Hz が  $-5.33 \pm 0.85 \text{ m}/\text{sec}$ 、120 Hz が  $-6.35 \pm 1.15 \text{ m}/\text{sec}$ 、240 Hz が  $-2.40 \pm 1.54 \text{ m}/\text{sec}$ 、480 Hz が  $-2.32 \pm 0.48 \text{ m}/\text{sec}$ 、960 Hz が  $-1.65 \pm 1.88 \text{ m}/\text{sec}$  となり、対照群は  $-1.55 \pm 0.89 \text{ m}/\text{sec}$  であった。暴露前値と後値との平均値について、同様の検定を行うと、30 Hz 群、60 Hz 群、120 Hz 群ともに 1 % 以下の危険率で有意に減少していた。また他の振動数群および対照群に有意な変化は認められなかった。

## III. 健康人の手腕系局所振動暴露による皮膚温、局所血流量および MNCV への影響

動物実験と同様に、振動加速度レベルを一定 ( $50 \text{ m}/\text{sec}^2$ ) として、種々の振動数の局所振動暴露 (60 分間) を行った場合の影響を、振動数ごとに暴露前値の平均値を○ (白丸) で暴露後値の平均値を● (黒丸) でもって図に示した。

### 1. 皮膚温

各振動数の振動暴露前の皮膚温の平均値±標準誤差と暴露後のそれを図 9 に示した (30 Hz が  $34.5 \pm 0.29^\circ\text{C}$ 、 $34.5 \pm 0.37^\circ\text{C}$ ; 60 Hz が  $33.9 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 、 $33.4 \pm 0.29^\circ\text{C}$ ; 120 Hz が  $33.7 \pm 0.71^\circ\text{C}$ 、 $33.1 \pm 0.44^\circ\text{C}$ ; 240 Hz が  $35.1 \pm 0.08^\circ\text{C}$ 、 $34.1 \pm 0.26^\circ\text{C}$ ; 480 Hz が  $33.4 \pm 1.27^\circ\text{C}$ 、 $32.4 \pm 1.53^\circ\text{C}$ ; 960 Hz が  $34.5 \pm 0.33^\circ\text{C}$ 、 $34.4 \pm 0.44^\circ\text{C}$ 、対照が  $34.4 \pm 0.38^\circ\text{C}$ 、 $33.6 \pm 0.67^\circ\text{C}$ )。暴露前値の平均値と後値の平均値とを比較検討したが、いずれの振動数の振動暴露においても、また対照実験においても、有意な差は認められな

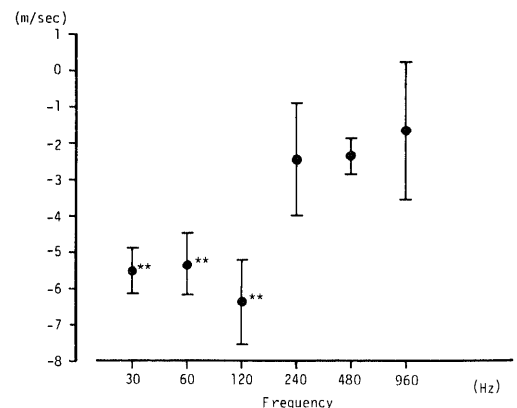


Fig. 8. Effect of various frequencies on peripheral motor nerve conduction velocity (MNCV) on the tails of rats exposed for 4 hours to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m}/\text{sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of the MNCV changed before and after vibration exposure of 4 rats (60, 240, 960 Hz) or 5 rats (30, 120, 480 Hz).

\*\*,  $p < 0.01$  (t-test).

かった。

## 2. 局所血流量

図 10 に、血流量の各振動数ごとの振動暴露前値および後値の平均値±標準誤差を示した。30 Hz の場合、それぞれ  $48.2 \pm 4.46$  ml/100 g/min,  $35.3 \pm 4.28$  ml/100 g/min であり、以下同様に 60 Hz が  $44.9 \pm 3.30$  ml/100 g/min,  $39.6 \pm 3.45$  ml/100 g/min; 120 Hz が  $33.7 \pm 0.71$  ml/100 g/min,  $42.0 \pm 2.75$  ml/100 g/min; 240 Hz が  $44.7 \pm 1.99$  ml/100 g/min,  $39.9 \pm 1.40$  ml/100 g/min; 480 Hz が  $41.0 \pm 3.98$  ml/100 g/min,  $34.9 \pm 4.05$  ml/100 g/min; 960 Hz が  $40.9 \pm$

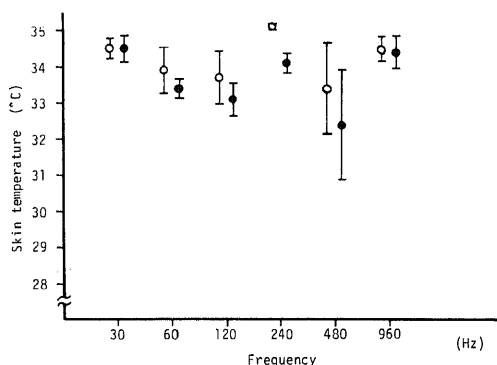


Fig. 9. Effect of various frequencies on skin temperature on the hand exposed for 1 hour to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m/sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of 5 men.  
○, before vibration exposure; ●, after vibration exposure.

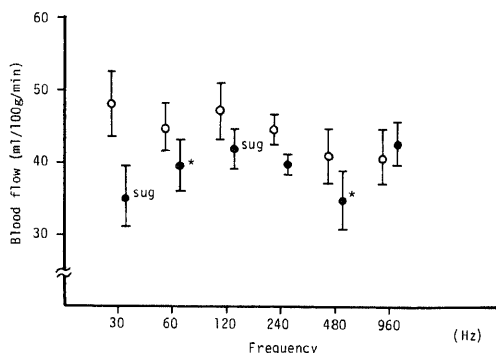


Fig. 10. Effect of various frequencies on blood flow on the hand exposed for 1 hour to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m/sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of 5 men.  
○, before vibration exposure; ●, after vibration exposure.

\*,  $p < 0.05$ ; sug,  $p < 0.10$  (t-test).

$3.79 \text{ ml/100 g/min}$ ,  $42.8 \pm 2.99 \text{ ml/100 g/min}$ ; 対照が  $35.2 \pm 2.93 \text{ ml/100 g/min}$ ,  $37.3 \pm 1.77 \text{ ml/100 g/min}$  であった。振動暴露前の血流量の平均値と、暴露後のそれを比較すると、振動数 60 Hz, 480 Hz の振動暴露の場合に危険率 5% 以下で有意な減少を示し、振動数 30 Hz, 120 Hz の場合にも低下傾向を認めた (危険率 10% 以下)。他の振動数の振動暴露および対照実験では有意の変化は認められなかった。

## 3. MNCV

### 1) 尺骨神経

尺骨神経の MNCV の振動暴露前の平均値±標準誤差、および暴露後のそれは、30 Hz で  $57.1 \pm 2.92 \text{ m/sec}$ ,  $60.6 \pm 4.43 \text{ m/sec}$ , 60 Hz で  $57.1 \pm 4.12 \text{ m/sec}$ ,  $52.6 \pm 3.01 \text{ m/sec}$ , 120 Hz で  $64.0 \pm 1.52 \text{ m/sec}$ ,  $58.5 \pm 2.96 \text{ m/sec}$ , 240 Hz で  $58.3 \pm 2.54 \text{ m/sec}$ ,  $55.7 \pm 1.69 \text{ m/sec}$ , 480 Hz で  $56.0 \pm 3.04 \text{ m/sec}$ ,  $55.5 \pm 2.26 \text{ m/sec}$ , 960 Hz で  $57.4 \pm 2.72 \text{ m/sec}$ ,  $59.5 \pm 2.03 \text{ m/sec}$  で、対照実験の前後では  $62.6 \pm 4.19 \text{ m/sec}$ ,  $59.1 \pm 2.78 \text{ m/sec}$  となり、図 11 に示した。暴露後の平均値と暴露前の平均値を比べると、120 Hz の振動暴露においてのみ低下傾向を認めた (危険率 10% 以下)。その他の振動数の場合、あるいは対照実験の場合の前後の値の間には有意な変化は認められなかった。

### 2) 正中神経

一方、図 12 に正中神経の場合の結果を図示したが、振動暴露の MNCV の平均値±標準誤差、および暴露後のそれは次の通りである。30 Hz が  $54.1 \pm 2.64 \text{ m/}$

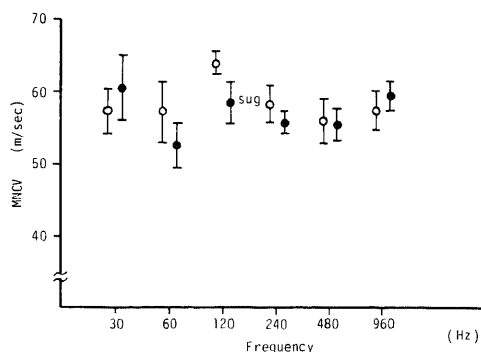


Fig. 11. Effect of various frequencies on peripheral motor nerve conduction velocity of the ulnar nerve on the hand exposed for 1 hour to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m/sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of 5 men.

○, before vibration exposure; ●, after vibration exposure.

sug,  $p < 0.10$  (t-test).

sec,  $51.1 \pm 2.02$  m/sec, 60 Hz が  $52.5 \pm 3.39$  m/sec,  $53.9 \pm 3.75$  m/sec, 120 Hz が  $53.7 \pm 2.12$  m/sec,  $48.3 \pm 2.03$  m/sec, 240 Hz が  $51.6 \pm 1.63$  m/sec,  $50.6 \pm 2.22$  m/sec, 480 Hz が  $58.7 \pm 3.12$  m/sec,  $56.4 \pm 3.19$  m/sec, 960 Hz が  $53.4 \pm 3.00$  m/sec,  $52.5 \pm 3.48$  m/sec であった。また対照実験の前後は  $56.6 \pm 3.34$  m/sec,  $53.2 \pm 2.77$  m/sec であった。正中神経では、30 Hz の振動暴露において、暴露前の平均値と暴露後の平均値との間に低下傾向を認めた（危険率 10%以下）。その他の振動数の暴露、および対照実験においては、有意な変化は認めなかった。

### 考 察

振動障害の程度と性質には、さまざまな要因の関与が考えられるが、なかでも振動の強度、周波数、振動暴露時間などが重要な要因であり、これに寒冷、工具の把持による筋の持続的筋張、作業姿勢等の関連が想定されている。振動工具の振動特性と臨床所見との対応については多くの研究がなされている（Gerbis ら<sup>12)</sup>、Hunter ら<sup>13)</sup>、Agate ら<sup>14)</sup>）が、振動工具の振動数は種々の振動数で構成<sup>8)15)</sup>されておりその振動スペクトルが広く、したがってかりにある振動工具についてある振動数が主勢力となっていたとしても、果たしてその振動数がその臨床所見を惹起する原因となる振動数であるとは断定できないところに問題が存在する。そこで本研究ではこの課題を解明するために、実験的にラット尾部ならびに健康人手腕系に振動暴露を行い、末梢循環機能および末梢神経機能の応答を観察

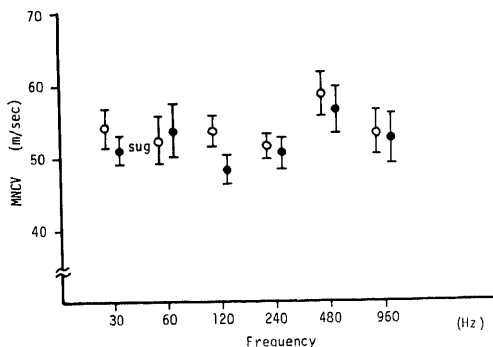


Fig. 12. Effect of various frequencies on peripheral motor nerve conduction velocity of the median nerve on the hand exposed for 1 hour to local vibration under constant acceleration ( $50 \text{ m/sec}^2$ ). Each group represents a mean  $\pm$  S. E. M. of 5 men.

○, before vibration exposure; ●, after vibration exposure.

sug,  $p < 0.10$  (t-test).

したものである。

また本研究で末梢循環機能検査として皮膚温・局所血流量、末梢神経機能検査としてMNCVをとり上げたが、これらの検査を実際振動工具を取り扱う現場での健康診断において行う機会を得たので、その成績についても検討した。特に水素ガスクリアランス法によるヒトの指およびラット尾部の局所血流量についての報告は他にないものである。

「振動工具の取扱い業務に係る特殊健康診断の実施手技について」<sup>6)</sup>の中で、振動障害の主症状である末梢循環機能障害、末梢神経機能障害の検査項目としては手指の皮膚温・爪圧迫、痛覚・振動覚等を行うことになっているが、これらの検査は環境条件の影響、検者間による手技の相違、被験者の判断力等の要因に左右されやすく、信頼性はうすいと言わざるを得ない。たとえば、環境条件について言えば、皮膚温は一般に室温  $20-24^\circ\text{C}$  で、入室後 30 分間安静の後に測定を始めることになっているが、 $20^\circ\text{C}$  の室温でも  $1.8 \text{ clo}^{16)}$  で手指皮膚温を測定し続けると健康人でも progressive に低下してゆき<sup>5)</sup>、 $26^\circ\text{C}$  前後で検査を行う方が良いと三木ら<sup>17)</sup>も述べている。測定条件にかかわる問題ばかりでなく、前述の検査法よりもさらに客観的で信頼性のある検査法<sup>12)</sup>が考案されることが要請されている現状といえる。

そこで末梢循環機能をみるのに本研究では皮膚温のほかに、局所血流量測定を試みた。水素ガスクリアランス法による局所血流量測定は、1964 年に Aukland ら<sup>6)</sup>が発表した。この方法は、装置の簡便さ、複数の部位での同時測定が可能等の長所があり、局所血流量を測定する手段としてすぐれており、動物実験に多く用いられている<sup>8)~8)18)19)</sup>。しかし、動脈血中の酸素分圧、炭酸ガス分圧等を変化させないためには、水素ガスを一定の低い濃度で吸入させる必要があり、また血流が低い所では、水素ガスが飽和するのに長い時間が要する等の欠点が挙げられ、小動物等への利用には好適ではない。この点、水素ガスクリアランス法の変法として電気分解を応用し、電極間に直流電流を通電することにより、体液から水素ガスを発生させ、これにより局所血流量を求めようとした Stosseck ら<sup>7)</sup>の方法の着想は優れているといえる。この方法は実用化するにはなお問題が残されていたが、甲州ら<sup>8)19)</sup>の改良・検討により実用化に至った。この電気分解法の長所としては、水素ガスを必要としないこと、水素ガス吸入による生体への影響が無いこと、吸入法に比べて測定に要する時間が少ないこと等が挙げられ、そのため本研究での人体、ラットへの適用が可能となった。さらに生体への侵襲を考慮し、針電極は刺入可能でかつ出来る



だけ細いもの(200  $\mu$   $\phi$ )を製作した。また通電による組織学的変化については、50  $\mu$ A, 10 sec 程度の通電では少なくとも肉眼的に蛋白の凝固は認められなかった<sup>8)</sup>といわれており、電極挿入による組織傷害に比べ無視しうると考えられる。

皮膚温では認められなかったが、本法による局所血流測定により振動工具使用者において、蒼白発作のある群(C群)と他の2群との間には、有意な減少(CA間  $p < 0.01$ , CB間  $p < 0.05$ )を認め、局所血流量測定がその鑑別に有用であった。先に述べたように、皮膚温は、皮膚血流の一指標として測定され、室温条件にも配慮されているが、Hondaら<sup>20)</sup>も環境温の変化が強い場合や皮膚血流量が大きい場合には、定性的にも皮膚血流の指標とはなり得ないと報告している。我々の研究<sup>21)</sup>でも測定条件を吟味しても季節や年により変化するという知見を得ているので、皮膚温で末梢循環機能障害を判定する場合には慎重さが要求される。血流量値については、Ganong<sup>22)</sup>らは皮膚100gあたりの血流は1-150 ml/minの間を大きく変化すると報告しており、坂本<sup>23)</sup>によれば指の血流量は非常に幅があるとして、通常の状態では、組織100 mlあたり10 ml ないし15 mlと述べている。本研究の血流測定は常温下安静30分後の測定であり、ほぼ通常状態の血流量値に近いものと推定されよう。

ヒトの指血流の水素ガスクリアランス法による測定は、ラット尾部の血流量測定と同様に他に報告を見ない。水素ガスクリアランス法を用いた研究は、動物実験では、脳<sup>7)</sup>、心臓<sup>6)</sup>、骨格筋<sup>28)</sup>、胃<sup>30)</sup>、小腸<sup>32)</sup>、結腸<sup>33)</sup>、脾<sup>34)</sup>、歯<sup>35)</sup>、卵管<sup>36)</sup>等、多臓器において行われているが、ヒトについては少なく脳<sup>37)</sup>、骨格筋<sup>38)</sup>、子宮<sup>39)</sup>、それも吸入法によるものばかりであり、今後本法の普及が期待されるところである。ちなみにMishraら<sup>38)</sup>によればM. bicepsの安静時血流量は14.1 $\pm$ 1.2 ml/100 g/minと報告されている。

Hodesら<sup>41)</sup>やMagladeryら<sup>42)</sup>がMNCV測定の臨床的意義を明らかにして以来、MNCVは末梢神経障害を客観的に診断するための有力な手段として近年さかんに行われるようになってきた。本研究において、振動工具使用者についてMNCVを測定した結果によれば、蒼白発作のある群(C群)と他の2群の間には、尺骨神経の場合(CB間  $p < 0.01$ , CA間  $p < 0.10$ )、正中神経の場合(CA間  $p < 0.01$ , CB間  $p < 0.05$ )ともに有意な差を認めた。C群に属する被験者は8名中6名が蒼白発作の他にしびれやいたみも訴えており、末梢循環障害への末梢神経の関与とも想定されるが、Arakiら<sup>43)</sup>は知覚神経伝導速度の観察より、伝導速度の遅延は血管系の障害による二次的な変

化ではなく、振動の末梢神経への直接的な作用と考えている。しかし、MNCVは、体温が1°C上昇するごとに2~2.4 m/sec速くなり<sup>9)</sup>、年齢にも影響される<sup>9)</sup>といわれていて、それらの影響を考慮しても、C群のそれは正常値<sup>9)</sup>(約45-70 m/sec)の下限に近い値であった。したがって、Waller変性まで起こしているものとは考えられず、また、末梢神経障害の初期などに正常な軸索と障害のある軸索との混在した状態で見られる、temporal dispersionのような所見は見られなかった。

この末梢神経伝導速度の測定は振動工具使用者についても試みられ、内外<sup>46)</sup>にその報告がある。久永<sup>48)</sup>は振動工具使用者の運動神経伝導速度、知覚神経伝導速度について、尺骨神経、正中神経ともに対照群と比べて有意差を認めながら、振動工具使用者をレイノー現象の有無で二群に分けた場合、神経伝導速度には有意差を認めてはいない。

動物実験で末梢神経伝導速度を測定するには、神経を摘出して行われる実験が多い<sup>49)</sup>が、生体における影響をみるためにはin vivoで観察する必要がある。ラットの尾部<sup>10)</sup>では神経がほぼ直線的に走っており、測定に利用できる神経の距離が長く、距離計測に際しての誤差が小さく、さらに神経が表面に近いので振動暴露の影響を受け易いと考えられる等の長所があり、適当な実験材料と考えられる。一方ラットの尾部は温度による影響をうけ易く、ラットでは1.0~1.6 m/sec/°Cの割合で変化すると三好<sup>51)</sup>は報告している。したがって本研究では室温を一定に保つように特に注意を払った。正常ラットの神経伝導速度については、Birrenら<sup>49)</sup>は、Sprague-Dawley系ラットの坐骨神経についてin vivoで37°C60日で31 m/sec、三好<sup>51)</sup>はWistar系ラットで37°C生後70日で36.9 $\pm$ 2.1 m/sec、生後100日で42.5 $\pm$ 3.4 m/secであるといい、本研究においてはすべての条件を常温下に行ったため、MNCVはこれらの値よりも減少しているが暴露前のMNCVはほぼ正常であったと考えられる。

さて、本研究の主題は、振動工具使用に基づく障害をもたらす手腕系に作用する局所振動刺激の振動数応答の解明にあるが、いうまでもなく振動障害の主要なagentとして振動があげられるわけであるから、障害を発生するのに振動強度、振動数がどの程度関与するかを究明することは、その発生機序の解明につながる重要な課題である。とくに振動強度と反応との関係を知るためにも、振動数応答を明らかにすることは先決ともいえる。また振動刺激に対する生体反応においてどの振動数が効果的であるかが判明すれば、振動工具使用時に発生するその振動数の振動を軽減することに

主力を注げば、振動障害の発生防止に直接つながることになり、障害防止対策樹立のためにも甚だ意義があるといえる。

このような観点からも振動刺激の振動数応答に関する研究も古くから展開されており、1931年に Gerbis ら<sup>12)</sup>は圧搾空気の振動工具使用者に特徴的な手指血管攣縮症候が発現することから 280–600 Hz の高振動数で血管攣縮現象がおこるとしており、Hunter ら<sup>13)</sup>はもっとも危険な振動数として 2000–3000 c/min (33–50 Hz) をあげている。レイノー現象に関連ある血管反応、血管攣縮に関しては、Andreeva-Galanina ら<sup>52)</sup>は 30–250 Hz の振動で血管攣縮がみられ、特に 100–150 Hz で最も起こりやすかったとし、同じ頃 Agate ら<sup>14)53)</sup>、また後に de Takats ら<sup>54)</sup>は振動数 40–125 Hz 程度の振動でレイノー現象がおこることを指摘しており、また Hyvärinen<sup>55)</sup>は vasospasmus には 125 Hz、80 Hz が最も効果的であるとして注目している。一方、末梢神経障害、骨・関節などへの影響に関する報告は少なく、ソ連において 11–30 Hz の低周波数では神経—筋器官に障害がおこるとしており<sup>52)</sup>、前述の Agate<sup>14)53)</sup>、de Takats ら<sup>54)</sup>が 160 Hz 以上の高振動数になると神経、筋、骨、関節の症状が現われることを述べているにすぎない。このように末梢神経、筋、骨、関節の反応、変化について効果的な振動数についても成績の一致をみておらず、血管反応、血管攣縮をおこし易い振動数がどの程度であるかについても意見はさまざまといえる。しかもこれらの研究の大部分は、振動工具の振動特性と臨床所見とを対応した結果からの類推であって、振動工具使用時に発生する振動数構成では、ISO<sup>11)</sup>でも 8–1000 Hz を対象としているだけにその範囲は広くさまざまであり、仮りにある振動数が主勢力を占めていたとしてもその振動数が直ちに臨床所見を惹起したと結びつけることができないところにこれらの研究の問題点が存在する。したがって実験的に追究せざるを得ないのであるが、この場合にしても振動を規定するもう一つの因子である振動強度を一定にする際に、変位、速度などのどの測度について一定にすべきかという問題が指摘される。実験的に観察した報告としてわずかに那須の研究などがあげられるが、那須<sup>56)</sup>は右手に振動数別に 40 Hz、80 Hz、100 Hz、120 Hz の振動を負荷して 100 Hz による皮膚温低下が著しかったとしているが、わずか 3 分間の振動負荷であり、振動強度一定の条件として振幅 0.5 mm、すなわち変位をあげている。この場合変位では一定となるが、振動数が増加するにつれて加速度は大きくなり、加速度からみれば一定とはならない。振動刺激に対する応答に関して変位、速度、加速度、jerk 値などの

の測定が生体反応を観察するのに最も直接的であるか、いわば生理的反応に関して変位が問題になるのか、加速度その他が効果的であるか古くから関心をもたれた課題であるが、国際的にも加速度を採用することがすすめられている<sup>11)</sup>。この理由と予備実験の結果から本研究では加速度を採用することとした。

その結果、末梢神経系は 30–120 Hz という比較的低い振動数で影響を受けるのに対し、末梢循環系は 30 Hz、60 Hz という低振動数ばかりでなく、240 Hz、480 Hz という比較的高い振動数でも影響を受けることを明らかにすることができ、しかも動物実験でもヒトでもほとんど一致することが認められた。Ljung ら<sup>57)</sup>は、ラットの門脈に水平振動を作用して 200 Hz がより効果的であったことを報告し、振動の血管平滑筋への直接影響を示唆するとしているが、血管に直接に作用しない本研究でもこのことが想定できるかもしれない。このように局所振動刺激に対する振動数応答を明らかにすることができたことから、振動障害の発生防止のためにこれらの振動数の振動を極力軽減するように振動工具を改善することが対策上肝要と考えられる。またこのような顕著な生体の振動数応答を観察することができたことは、逆に局所振動刺激に関しても加速度が重要な agent であることを示唆するものといえよう。

## 結 論

振動工具使用者における末梢循環機能、末梢神経機能について調査・検討を行ったのち、実験的に生体にとって最も影響がみられる振動数を明らかにするため、加速度を一定 (50 m/sec<sup>2</sup>) にして振動数を種々に変化させた局所振動暴露を行い、その末梢循環系、末梢神経系の生理学的応答について検討した。結果は次の通りである。

1) 振動工具使用者 (男子、年齢 37–76 歳、工具使用期間 2–30 年) について、無症状群 (A 群)、蒼白発作はないがしびれやいたみのある群 (B 群)、蒼白発作のある群 (C 群) の 3 群にわけて検討した。指皮膚温については、各群間に有意な差は認められなかったが、指血流量は C 群は他の群より有意に減少 ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ) しており、尺骨神経、正中神経の MNCV は C 群は他の群より有意に遅延 (ともに  $p < 0.01$ ) していた。

2) 動物実験的に、ラットの尾部を局所振動に暴露した場合、皮膚温は 30 Hz、240 Hz で、血流量は 30 Hz、60 Hz、480 Hz で、また MNCV は 30 Hz、60 Hz、120 Hz で、局所振動暴露の前後で有意な変化を認め、減少していた。

3) 次に健康な成年男子 5 名 (25-31 歳) の手腕系に局所振動を暴露した場合、局所振動暴露の前後で、指皮膚温には特に有意な変化を示した振動数はなかったが、指血流量については 30 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 480 Hz で低下傾向を認め、一方 MNCV については、尺骨神経では 120 Hz, 正中神経では 30 Hz で低下傾向を認めた。

以上より局所血流量や末梢神経伝導速度の測定といった検査が、振動工具使用者の蒼白発作のある群とそうでない群の鑑別に有用であり、さらに末梢神経系は 30-120 Hz という比較的低い振動数で影響を受ける傾向を認めたのに対して、末梢循環系は 30 Hz, 60 Hz といった低い振動数ばかりでなく、240 Hz, 480 Hz という比較的高い振動数でも影響を受けることが指摘され、動物実験により得られた成績とヒトについての実験により得られた成績がほとんど一致した。

#### 謝 辞

稿を終えるに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師岡田晃教授に深く感謝の意を表します。

本論文の要旨は 10th Asian Conference on Occupational Health (1982 年 9 月, Singapore), ILO・International Symposium on the Protection of Workers against Vibration (1982 年 9 月, Yugoslavia・Niš), 第 25 回日本産業衛生学会北陸甲信越地方会総会 (1982 年 11 月, 富山市) および第 56 回日本産業衛生学会 (1983 年 4 月, 大阪府) に於いて発表した。

#### 文 献

- 1) 岡田 晃：いわゆる「白ろう病」, 日本医師会医学講座 (昭和 42 年度), 金原出版, 東京, 1968.
- 2) Okada, A., Yamashita, T., Nagano, C., Ikeda, T., Yachi, A. & Shibata, S.: Studies on the diagnosis and pathogenesis of Raynaud's phenomenon of occupational origin. *Br. J. Ind. Med.*, 28, 353-357 (1971).
- 3) Raynaud, M.: De l'asphyxie locale et de la gangrène symétrique des extrémités. Rignoux, Paris, 1862.
- 4) Loriga, G.: Il labora coi martelli pneumatici. *Boll. Ispett. Laverio*, 20, 35 (1913).
- 5) 岡田 晃・鈴木勝己：振動障害：研究動向と診療の実際, 篠原出版, 東京, 1982.
- 6) Aukland, K., Bower, B. F. & Berliner, R. W.: Measurement of local blood flow with hydrogen gas. *Circ. Res.*, 14, 164-187 (1964).
- 7) Stossek, K., Luebbers, D. W. & Cottin, N.: Determination of local blood flow (microflow) by electrochemically generated hydrogen: construction and application of the measuring probe. *Pfluegers Arch.*, 348, 225-238 (1974).
- 8) 甲州啓二・遠藤俊郎・高久 晃・齊藤建夫：電気分解法により発生させた水素ガスを利用した局所脳血流量測定を試み, 脳神経外科, 9, 1261-1266 (1981).
- 9) 千野直一：臨床筋電図・電気診断学入門, 29-58 頁, 医学書院, 東京, 1977.
- 10) Steg, G.: A morphological description of the rat tail muscles. *Acta Physiol. Scand.*, 61 (Suppl. 225), 8-9, (1964).
- 11) ISO/TC 108: Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand: Draft International Standard ISO DIS 5349, ISO/TC 108, Gent, 1982.
- 12) Gerbis, H., Gross, A., Meyer-Brodnitz, K. F. & Robinson, J.: Die Verhütung von Gesundheitsschädigungen durch Anklopmaschinen, Berlin., quoted in Teleky, L.: Occupation and Health Supplement, International Labour Office, Geneva, 1938.
- 13) Hunter, D., McLaughlin, A. I. G. & Perry, K. M. A.: Clinical effects on the use of pneumatic tools. *Br. J. Ind. Med.*, 2, 10-16 (1945).
- 14) Agate, J. N. & Druett, H. A.: A study of portable vibrating tools in relation to the clinical effect which they produce. *Br. J. Ind. Med.*, 4, 141-163 (1947).
- 15) 岡田 晃・中村円生：騒音, 振動・衝撃の影響と対策, 126-132 頁, 人間と技術社, 東京, 1970.
- 16) 佐々木隆・保元 勲・宮本雄一・高田重矩・井上富彦・石原 章・谷口正信：緩和な寒冷に対する全身性耐寒性の評価法, 体質医研報, 20, 83-94 (1969).
- 17) 三木吉治・川津智是・川津友子・山田徹太郎・岡田哲哉・松田光司・町野 博：皮膚温測定時の室温条件, 医科器械学, 49, 606-607 (1979).
- 18) Fieshi, C., Bozzao, L. & Agnoli, A.: Regional clearance of hydrogen as a measurement of cerebral blood flow. *Acta Neurol. Scand.*, 41 (Suppl. 14), 46-52 (1965).
- 19) Koshu, K., Kamiyama, K., Oka, N., Endo, S., Takaku, A. & Saito, T.: Measurement of regional blood flow using hydrogen generated by electrolysis. *Stroke*, 13, 483-487 (1982).
- 20) Honda, N., Carlson, L. D. & Judy, W. V.: Skin temperature and blood flow in the rabbit ear. *Am. J. Physiol.*, 204, 615-618 (1963).
- 21) 野原聖一・有泉 誠・窪田道男・岡田 晃：振動

障害検診データ追跡について。産業医, 23, 438 (1981).

22) Ganong, W. F. (松田幸次郎・市岡正道・東 健彦・林 秀生・菅野富夫・佐藤昭夫・中村嘉男共訳): 医科生理学展望, 507-523 頁, 丸善, 東京, 1980.

23) 坂本邦樹: 皮膚循環に関する二, 三のことがら。日医新報, No. 2517, 7-11 (1972).

24) Haining, J. L., Turner, M. D. & Pantall, R. M.: Measurement of local cerebral blood flow in the unanesthetized rat using a hydrogen clearance method. Circ. Res., 23, 313-324 (1968).

25) Pasztor, E., Symon, L., Dorsch, N. W. C. & Branston, N. M.: The hydrogen clearance method in assessment of blood flow in cortex, white matter and deep nuclei of baboons. Stroke, 4, 556-557 (1972).

26) 田村 晃・浅野孝雄・卓 允佑・間中信也・平川公義・佐野圭司: 水素クリアランス法による脳局所血流量の測定。脳と神, 30, 47-54 (1978).

27) 森 渥視・茵 潤・中島真樹・南 一明・岡田慶夫・木之下正彦・本村正一・加藤正太郎・河北成一: 大動脈バルーンパンピング法の局所心筋血流に対する効果。日胸外会誌, 27, 1013-1017 (1979).

28) 富永詩郎・渡辺勝宏・村上松太郎・鈴木敏巳・中村 隆: 骨格筋血流に対する血管拡張剤の動的評価。脈管学, 18, 29-34, (1978).

29) Mishra, S. K. & Haining, J. L.: Measurement of local skeletal muscle blood flow in animals by the hydrogen electrode technique. Muscle Nerve, 3, 285-288 (1980).

30) Semb, B. K. H.: Gastric flow measured with hydrogen clearance technique. Scand. J. Gastroentl., 14, 641-646 (1979).

31) Murakami, M., Moriga, M., Miyake, T. & Uchino, H.: New device for the measurement of hydrogen clearance rate from the gastric mucosa. Gastroenterol. Jpn., 15, 385-389 (1980).

32) Mishima, Y.: Measurement of local blood flow of the intestine by hydrogen clearance method; experimental study. Jpn. J. Surg., 9, 63-70 (1979).

33) 石田 寛・堀江文俊・信田卓男・柴山理恵・上山章光: 生理食塩水負荷による家兎結腸紐の局所血流量の増加。帝京医誌, 5, 221-226 (1982).

34) 永田和之・渡辺嘉久・足立穰一・渡辺正敏・野原秋男・山本 亘・中田正久・宮本 滋・村井俊介・阿部正和: 実験的急性肺炎における水素ガスクリアランス法による脾局所血流量の測定。日消病会誌, 76, 134

(1979).

35) Omoto, M. & Nomura, R.: Blood flow in pulp of canine teeth and its relationship to accumulation of some metals in the teeth of dogs. Nippon Eiseigaku Zasshi, 36, 887-894 (1982).

36) 宮崎 憲: 水素ガス・クリアランス法によるうさぎ卵管血流量の測定。日不妊会誌, 25, 53-61 (1980).

37) Jørgensen, P. B.: Brain death. Cerebral appearance of inhaled hydrogen in the diagnosis of cerebral circulatory arrest. Acta Neurochir., 30, 187-193 (1974).

38) Mishra, S. K. & Haining, J. L.: Measurement of local skeletal muscle blood flow in normal humans by hydrogen clearance. Muscle Nerve, 3, 289-292 (1980).

39) Klingenberg, I. & Aukland, K.: Measurement of human uterine cervical blood flow by local hydrogen gas clearance. Acta Obstet. Gynecol. Scand., 48, 455-469 (1969).

40) Klingenberg, I.: Measurement of blood flow in human myometrium by local hydrogen clearance. Acta Obstet. Gynecol. Scand., 48, 470-478 (1969).

41) Hodes, R., Larrabee, M. G. & German, W.: The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. Arch. Neurol. Psychiatr., 60, 340-365 (1948).

42) Magladery, J. W. & McDougal, D. B. JR.: Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man I. Identification of certain reflexes in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibers. Bull. Johns Hopkins Hosp., 86, 265-290 (1950).

43) Araki, S., Honma, T. & Aoyama, K.: Peripheral nerve conduction velocities in chain-saw operators. Sangyo Igaku, 18, 516-520 (1976).

44) Johnson, E. W. & Olsen, K. J.: Clinical value of motor nerve conduction velocity determination. J. A. M. A., 172, 2030-2035 (1960).

45) 鳥居順三: 末梢神経伝導速度。臨検, 21, 16-21 (1977).

46) Lukáš, E.: Lesion of the peripheral nervous system due to vibration. J. Work Environ. Health, 7, 67-79 (1970).

47) Seppäläinen, A. M.: Nerve conduction in the vibration syndrome. J. Work Environ. Health, 7, 82-84 (1970).

- 48) 久永 孟: 振動工具使用者の末梢神経伝導速度に関する研究. 産業医, 24, 284-293 (1982).
- 49) Birren, J. E. & Wall, P. D.: Age changes in conduction velocity, refractory period, number of fibers, connective tissue space and blood vessels in sciatic nerve of rats. J. Comp. Neurol., 104, 1-16 (1956).
- 50) Hebel, R. & Stromberg, M. W.: Anatomy of the laboratory rat, p.91-144, Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1976.
- 51) 三好 甫: 正常および実験的糖尿病ラットの神経伝導速度の生体内連続測定の研究. 福岡医誌, 62, 588-603 (1971).
- 52) ア・ア・レタベータ & エ・ア・ドロギチナ監修 (伊藤史子訳): 産業における振動, 労働科学研究所, 東京, 1975.
- 53) Agate, J. N.: An outbreak of cases of Raynaud's phenomenon of occupational origin. Br. J. Ind. Med., 6, 144-163 (1949).
- 54) de Takats, G. & Fowler, E. F.: Raynaud's phenomenon. J. A. M. A., 179, 99-106 (1962).
- 55) Hyvärinen, J., Pyykkö, I. & Sundberg, S.: Vibration frequencies and amplitudes in the aetiology of traumatic vasospastic disease. Lancet, 1, 791-794 (1973).
- 56) 那須吉郎: 振動刺激による皮膚温の経時変化. 産業医, 16, 411 (1974).
- 57) Ljung, B. & Sirvertsson, R.: Inhibition of vascular smooth muscle contraction by vibration. Acta Physiol. Scand. Supple., 396, 95 (1973).

**The Influence of the Various Frequencies in Local Vibration Exposure on Peripheral Circulatory and Nervous Functions** Seiichi Nohara, Department of Public Health, (Director: Prof. A. Okada), School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa, 920 —J. Jusen Med. Soc., 92, 953-966 (1983)

**Key words:** Local vibration, Frequency, Skin temperature, Local blood flow, Peripheral nerve conduction velocity.

#### Abstract

The influences of local vibration exposure were studied on the peripheral circulatory and nervous functions. Twenty-four male workers (37-76 years old) who had been engaged in the job of using vibrating tools for 2-30 years were first examined. The cases were divided into three groups; A group with no symptom, B group with numbness and/or pain without Raynaud's phenomenon, and C group with Raynaud's phenomenon. The skin temperature showed no significant change among them. The finger blood flow of C group was significantly less than that of the other groups ( $p<0.01$ ,  $p<0.05$ ). And the peripheral nerve conduction velocity of C group was significantly lower than that of the other groups ( $p<0.01$ ).

The response to various vibration frequencies (30Hz, 60Hz, 120Hz, 240Hz, 480Hz, 960Hz) under constant acceleration ( $50\text{m/sec}^2$ ) was also examined in both animals and humans, in order to clarify which vibration frequency is most harmful to the body. The tails of rats were exposed for 4 hours to local vibration of various frequencies. The skin temperature dropped significantly after vibration (30Hz, 240Hz,  $p<0.05$ ). The blood flow decreased significantly after vibration (30Hz,  $p<0.01$ ; 60Hz, 480Hz,  $p<0.05$ ). The peripheral nerve conduction velocity was significantly slow after vibration (30Hz, 60Hz, 120Hz,  $p<0.01$ ). The hands of 5 healthy men were exposed for 1 hour to local vibration of various frequencies. The skin temperature did not change significantly at any frequency. The blood flow decreased after vibration (60Hz, 480Hz,  $p<0.05$ ; 30Hz, 120Hz,  $p<0.10$ ). The peripheral nerve conduction velocity became slightly slower after vibration (ulnar nerve; 120Hz,  $p<0.10$ ; median nerve; 30Hz,  $p<0.10$ ).

The measurements of the finger blood flow and the peripheral nerve conduction velocity were

useful to discriminate between the group with Raynaud's phenomenon and the groups without. The physiological responses to local vibration depended on the vibration frequency. The peripheral nervous system was affected by low frequencies from 30Hz to 120Hz, whereas the peripheral circulatory system was influenced not only by low frequencies as 30Hz, 60Hz but also by high frequencies, such as 240Hz, 480Hz. The results in humans were consistent with those in animals.